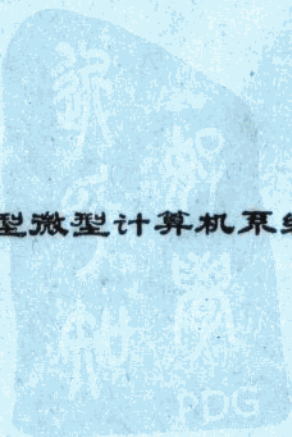


# 数据库系统教程

史九林 编著

《小型微型计算机系统》编辑部



## 前 言

数据库系统是近十多年发展起来的一项计算机数据管理新技术。这是计算机在信息管理领域中得到广泛应用的必然结果，也是今后若干年内计算机数据处理活动的主要内容和研究课题，数据库系统也将日益广泛地得到应用和日趋重要。它的设计、实现和应用不仅仅是一个实践的问题，同时也是一个理论的问题。

近年来，国内计算机软件工作者和广大计算机用户已经投以极大的热情研究和发展这一新技术；因此，有必要进行这一方面的知识的传播和技术方面的准备，以进一步推动这一新技术的发展；为我国的四个现代化服务。本《数据库系统教程》正是为这一目的编写的。

《数据库系统教程》是笔者在多年来的科研实践、应用实践和教学实践的基础上写成的，并力求系统性强，观点明确。全书共分四章。第一、二两章是数据库系统的一般概念和原理。第三章介绍了关系数据库的基本概念。通过对这三章的学习，期望读者对数据库系统有一个基本的、全面的了解和完整的概念。第四章介绍和分析了三个有代表性的不同模型的数据库系统，即IMS、DBTG和System R，企图使读者对数据库系统有一个直观的感性的认识；以利用于数据库系统的实际应用。

本教程不是一本研究成果的总结，也不是理论的探讨，而仅仅是一个入门篇。由于时间关系和编者水平的限制，论述可能不深不透，也许还有许多谬误存在。编者愿意，而且热情地希望读者提出批评指正。

作 者

1984年7月于南京

# 目 录

## 前 言

### 第一章 计算机数据管理技术

1.1 信息、数据和数据处理	1
1.1.1 信息和数据	1
1.1.2 数据处理	2
1.2 计算机数据管理技术的进展	4
1.2.1 自由管理方式	4
1.2.2 独立文件方式	5
1.2.3 共享文件方式	6
1.2.4 数据库方式	7
1.3 数据库系统方法	7
1.3.1 什么是数据库	7
1.3.2 数据库系统的主要特征	8
1.3.3 数据库系统的结构	1
1.3.4 数据库系统的活动周期	1
1.4 数据库历史的简短回顾	15

### 第二章 数据库系统原理与数据库设计

2.1 三个世界及其相互关系	18
2.1.1 现实世界	18
2.1.2 信息世界	19
2.1.3 数据世界	19
2.2 数据的逻辑结构	20
2.2.1 数据组织的分级	21
2.2.2 数据间的逻辑联系	26
2.3 数据模型	28
2.3.1 E—R方法	29
2.3.2 数据模型	30
2.3.3 数据子模型	37
2.4 数据的存储结构	39
2.4.1 三种记录	39

2.4.2 实现“联系”的物理方法	40
2.4.3 数据库入口点的设置	45
2.5 数据库的设计	47
2.5.1 数据库的逻辑设计	47
2.5.2 数据库的物理设计	52
2.5.3 数据描述语言	53
2.6 数据库的操纵	57
2.6.1 数据库操纵语言	57
2.6.2 程序设计语言与DML的关系	59
2.7 数据库管理系统	61
2.7.1 数据库管理系统的功能	61
2.7.2 数据库管理系统的组成	62
2.7.3 数据库软件设计问题	63
2.8 数据库的创建和维护	64
2.8.1 数据库系统的选择	64
2.8.2 数据库的设计和装入	65
2.8.3 数据库的维护	66

### 第三章 关系数据库的基本概念

3.1 关系模型的基本概念	68
3.1.1 关系的数学定义	68
3.1.2 关系的性质	69
3.1.3 关系数据模型	70
3.2 关系数据库上的操作	73
3.2.1 关系代数	74
3.2.2 关系演算	80
3.2.3 SEQUEL语言	83
3.2.4 QBE语言	86
3.2.5 几种数据子语言的比较	92
3.3 关系模型的规范化	93
3.3.1 关系规范化的目的	93
3.3.2 关键字	94
3.3.3 函数依赖	94

3.3.4 关系的规范化	96
--------------	----

## 第四章 数据库系统实例分析

### 4.1 层次方式数据库系统IMS 104

4.1.1 IMS数据模型	104
4.1.1.1 IMS物理数据库	104
4.1.1.2 数据库描述	106
4.1.1.3 层次顺序码	110
4.1.1.4 IMS数据库	110
4.1.2 IMS数据子模型	111
4.1.2.1 逻辑数据库	111
4.1.2.2 程序通信块(PCB)	112
4.1.2.3 程序说明块(PSB)	112
4.1.3 IMS系统的结构	115
4.1.4 IMS数据库的操纵	115
4.1.4.1 应用程序的结构	116
4.1.4.2 程序通信块的定义	117
4.1.4.3 DL/I语言	118
4.1.4.4 数段检索变量辅助命令码	122
4.1.4.5 使用IMS数据库的应用程序例	122
4.1.5 IMS数据库的存储结构	127
4.1.5.1 层次顺序存取方法 HSAM	127
4.1.5.2 层次索引顺序存取方法 HISAM	129
4.1.5.3 层次直接存取方法 HDAM	130
4.1.5.4 层次索引直接存取方法 HIDAM	133
4.1.6 IMS逻辑数据库	135
4.1.6.1 IMS逻辑数据库的概念和结构	135
4.1.6.2 IMS逻辑数据库的描述	137
4.1.7 IMS辅助索引	138
4.1.7.1 辅助索引的概念和构造	138
4.1.7.2 辅助索引数据库的定义	139
4.1.7.3 辅助索引结构数据库的操作	140

### 4.2 网络方式数据库系统DBTG 141

4.2.1 DBTG系统的结构	141
4.2.2 DBTG数据模型	142
4.2.2.1 DBTG系统的概念	142
4.2.2.2 模型到模式的演进	144
4.2.2.3 系统结构的实现方法	149

4.2.2.4 数据的存取策略	151
4.2.2.5 数据描述语言 DDL	156
4.2.2.6 一个用DDL书写的模式例子	160
4.2.3 DBTG子模型	163
4.2.3.1 子模式的构造	164
4.2.3.2 DBTG子模式描述语言SDDL	164
4.2.3.3 一个子模式的例子	167
4.2.4 DBTG数据库的操纵	168
4.2.4.1 运行单位和当前状态	168
4.2.4.2 DBTG数据操纵语言DML	169
4.2.4.3 DML语句	170
4.2.4.4 一个COBOL例	176

### 4.3 关系方式数据库系统

#### System R 178

4.3.1 System R的体系结构	178
4.3.1.1 用户面前的 System R数据库	179
4.3.1.2 System R管理系统的组成	180
4.3.2 System R的数据结构	183
4.3.2.1 库表(Base Tabel)	183
4.3.2.2 索引(Index)	185
4.3.2.3 例 <报刊系统>库表定义	185
4.3.2.4 小结	186
4.3.3 System R的窗口定义	187
4.3.3.1 窗口(VIEWS)	187
4.3.3.2 窗口与数据独立性	188
4.3.4 System R数据库上的操作	190
4.3.4.1 S检索操作	190
4.3.4.2 标准函数过程的使用	198
4.3.4.3 修改操作	201
4.3.4.4 关于窗口的DML操作	203
4.3.5 嵌入主语言中的 SQL	205
4.3.5.1 SQL 在主语言中的嵌入规则	206
4.3.5.2 单值操作	207
4.3.5.3 多值操作	208
4.3.6 System R的存储结构	210
4.3.6.1 搜索存储界面(RSI)	210
4.3.6.2 System R数据库的存储	210
4.3.6.3 存储文件和记录	211
4.3.6.4 RSI操作	212

# 第一章 计算机数据管理技术

今日之计算机，已异如它在本世纪40年代中期问世时那样，不仅仅用于数值计算了；而是大量地，广泛地应用于事务数据处理一类的非数值应用的各个领域。类如企业管理，情报检索，病理分析，计划统计，乃至文字翻译，汉文处理等等。这里有一个普遍存在的，也是极重要的问题；就是如何对极大量数据进行管理以适应计算机和应用的特点的问题。本章就这个问题进行简要的讨论。

## 1.1 信息，数据和数据处理

我们赖以生存的世界是一个物质的世界；同时，也是一个信息的世界。这有两方面的特征：其一，物质的存在伴随着信息存在，物质是信息的基础，信息是物质的抽象反映。例如，一个学校有若干学生，则必有反映这些学生自然情况的人事档案以及反映学生学习情况的学籍档案存在等等。又如，一个商店有许多商品存在，则必有关于这些商品的各种特征的信息（商品名称，规格，颜色，数量，单价等等）存在。其二，我们不难看到：物质的变化，（表现形式的变更，数量的增减，地域的变迁等等）会引起信息的变化（对旧信息的修改或删除，新信息的产生和传播等等）。例如，当学生入学或毕业离校时，由一年级升入二年级时，或由一个系转学到另一个系时，都必然要对相关的信息加以修改，以便准确地反映当前的状态。再如，商品的销售使得原来的信息被更新，有时还产生新的信息，如发票；发票随购货者带走，就发生了信息的传播。那么，到底什么是信息呢？

### 1.1.1 信息和数据

信息是一个抽象的概念，我们很难对之给出一个确切的，具有广泛意义的一般定义。从不同的角度出发，对信息这个概念有不同的理解。为了说明这个问题，不妨先看几个例子：

例1. 有人告诉我：“名叫张强的男孩子今年16岁，现在在南京大学计算机科学系二年级读书”

例2. 《人民日报》1982年8月31日报导说：“中国共产党第十二次全国代表大会于九月一日在北京开幕”。

例3. 水是由氢和氧化合而成的。

从这三个例子，我们可以理解到三个不同的事件或概念。即，得到了这些信息，通

过这些信息，我们或者了解了某一事件；或者收到了一条新闻；或者学到了一种客观存在的固有知识。可见，信息就是这类消息，新闻，情报和知识的总和，即对世界的一切真知。从辩证唯物主义的观点来看，信息是客观存在的，因为物质的存在性。然而，对每一个个人而言，他不一定能马上认识它们；人们也只能去认识他们需要的信息。因为他们只对与之有关的信息才感到有兴趣。至于所有别的信息，他可以不去认识它，也可以不去认识它，也许目前还不可能去认识它，例如对客观世界的信息。

在实际社会活动中，信息常常要被记载下来；有时候还要把它们传播出去。这就要求有一种表达信息的工具。这便是所谓数据的职能。例如，乘坐飞机去旅行，通常总要了解《乘客须知》，这个《乘客须知》不能仅仅是机场管理者脑子里的想法和概念；而必须为所有的乘客预知。于是就用各种文字（中文、法文、英文、日文……等等）把《乘客须知》表述出来，并张贴在有关的地方，或散发出去。这里提到的文字就是表示信息的工具。或者说这是数据。由此可见，信息是依赖数据而存在的。数据组合成且具体生动地表现出信息。它们是两个既密切相关，但又相区别的概念。

虽然，信息还可以通过声音（如广播）表达和传播，但是文字仍然是最广泛使用的信息表达工具。一提到数据，人们往往会误解它仅仅是表示数量概念的数值数据。其实，我们这里讨论的数据和数值数据是不能等同的。后者是前者的一个真子集。因为信息不仅要求有“数量”的表达，还要求有“陈述”的表达；而且后者还占有主要的地位。在例1中，16（岁），2（年级）是数量概念；而“在南京大学计算机科学系……”这段文字却是对事件的“陈述”。因此，广义地讲，数据是一切文字，符号，声音，图象等等的有意义的组合。就计算机领域而言，数据是计算机实际能处理的一切对象，只是它们有外部表示和内部表示的区别。

### 1.1.2 数据处理

信息在人类社会（政治的，文化的或经济的）活动中，占有非常重要的地位。可以毫不夸张地说：人类的整个社会活动是受信息的支配，特别是在社会信息化的今天尤为如此。人们要花费大量的时间和精力去从事信息的收集，综合和分析，并根据这一活动的结果来决定下一步的活动是什么。就出版一份报纸来说吧，有一批人员借助于各种可能的工具收集稿件；选择、审阅和修改稿件，编辑、排板、印刷、发行报纸等等；同时还要通过对稿件内容的分析和当前的宣传中心，决定下次出版的内容和征稿范围等等。这样的活动周期地进行。如图1—1所示：数据组合形成信息，根据信息作出决策，按照决策指导活动，这样的活动又导致另一批数据的产生，随后又如此地循环往复进行下去。

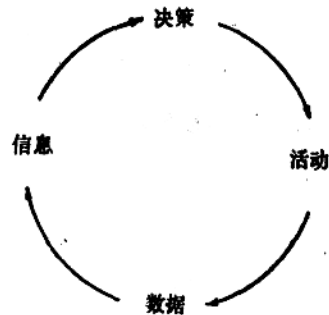


图1—1 信息反馈周期

再以商品生产为例。首先，生产管理者预测市场情况获得许多数据（某种规格的商品历年销售数量等等），再把这些数据加工成若干信息；生产管理者分析这些信息后作出决策（是增产还是减产或者停产等等），并指挥生产部门的生产活动。显然，商品产生后推出销售又会重复上述的信息反馈周期。

诸如这一系列的围绕信息所做的工作，我们叫它信息处理。一般地说，所谓信息处理就是指对信息进行收集，整理，加工，存储，传播和利用等一系列活动的总和。因为信息是用数据表示出来的，所以对信息的处理具体地体现在对数据的处理上。即通过对原始数据（原始信息）的处理，产生新的数据（新的信息）作为结果。这一处理包括对数据的收集，记载，分类，排序，存储，计算/加工，传输，制表，递交等处理，这就是数据处理的概念。经过处理的数据是精炼的数据，是能够反映出事物或现象的本质和特征以及内在联系的数据。

熟悉社会的人都会看到，在我们的周围有相当数量的人在从事繁杂的数据处理作业；而且还有一些部门是专业从事数据处理业务的。数据处理的历史可以追溯到远古时代，自有人类存在就有了数据处理活动。原始人类的结绳记事，累石计数便是数据处理的雏形。随着社会生产和文明的日益发展，数据处理也得到了相应的发展，就整个数据处理的发展过程来看可以分为三个阶段。

第一阶段：即手工数据处理阶段。这是自远古时代到十九世纪末一直使用的数据处理方法。由于当时社会生产力比较低，科学技术不够发达，因此，数据处理方法也只维持于一种简单的，低级的手工操作。人们借助于如算盘，手摇计算机、计算尺、加法机等等等一类低级的计算工具。这种方法效率低，能处理的数据量很少，而且可靠性强。随着生产力的发展和科学技术的进步，只停留在手工操作的数据处理方法上已经不能适应社会的需要，因而人们便着手于计算工具的改革和发明。

第二阶段：即机械数据处理阶段。这一阶段虽仍然有较多的手工操作，但是其主要特征是使用了比第一阶段先进得多，且有效的工具。如H·霍勒内斯在十九世纪八十年代发明了卡片制表机，这种机器能以自动化的方式进行卡片的穿孔、校验、分类、整理和制表等操作。这也是跨入机械数据处理阶段的一个重要标志。机械设备的使用使数据处理能力有了大大的改进和提高。但是这种设备的性能和使用仍然受到很大的限制。直到二十世纪四十年代中期第一台电子数字计算机ENIAC问世以后，数据处理才进入自动化的电子数据处理时代。

第三阶段：即电子数据处理阶段。电子计算机的出现为数据处理展现了广阔的前景。它不仅处理速度快，存储容量大，输入输出灵活；而且把人的手工操作降低到最小的程度。电子数据处理方法不仅适应了不断提高的社会生产力的需要，而且还反过来促进了社会生产力的发展。因此，电子数字计算机的应用是数据处理领域中的一场革命，成为社会信息化时代不可缺少的有力工具。

第一台电子数字计算机的研制仅仅是为了解决工程和科学计算使用的。随着计算机设计艺术的提高，使它不但能进行数值计算，同时还能进行文字处理，图象处理等等，即通常所说的非数值处理；不但有越来越大的内存储器，同时还有多种性能的外存储器。这就为各种领域内的数据处理自动化提供了可能性，使数据处理技术得到了突飞猛

进的发展。

虽然,这三种数据处理方法一个比一个先进,但是在现今的世界上仍然存在手工的方法和机械的方法,特别是手工的方法还是屡见不鲜的。而机械的方法相对来说处于停顿状态。这一方面是因为世界上各个国家和地区的科学技术发展还不平衡;另一方面是因为某些领域的某些部门还不适于使用电子数字计算机。这种局面将随着中型,小型和微型计算机以及个人计算机的发展得到改善。

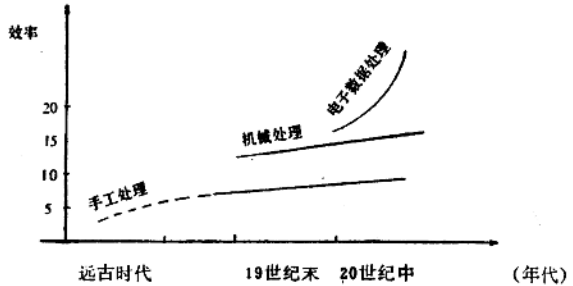


图 1-2 三种数据处理方法的发展

图 1-2 给出了三种数据处理方法的大致发展情况。

## 1.2 计算机数据管理技术的进展

利用电子计算机进行数据处理就是把原始数据和处理算法交给计算机,这就是输入。由计算机对这批数据按照给定的算法进行加工,最后产生出结果数据来,这就是输出(如图 1-3 所示)。对某一特定课题而言,处理算法在一个时期内是相对稳定的。而原始数据却随时间的推移而不尽相同,且是大量的。从数据的输入,到数据在计算机内存,再到数据的输出,特别是数据的存储,都有一个数据组织的问题。这就是所谓对数据的管理问题。

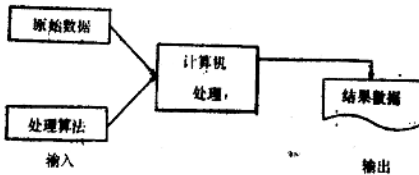


图 1-3 数据处理过程

如所周知,数据管理技术的优劣对数据处理的方式和效率有直接的影响。因此,自从计算机进入数据处理领域以后,许多计算机科学家,特别是软件工作者展开了对数据管理技术的研究,并且取得了重大的进展,发展了许多卓有成效的数据管理技术。就其发展情况来看,大致经历了四个阶段。

了四个阶段。

### 1.2.1 自由管理方式

计算机的早期使用没有称做软件的系统程序的支持。每一个用户除了编制他(她)的课题程序以外,还要考虑到数据的逻辑定义和物理组织,以及数据在计算机存储设备内的物理存储方式。数据的引用是按物理地址进行的。在这种情况下,表示处理流程的程序和作为处理对象的数据结合成一个整体(如图 1-4 所示),相互不可分离而单独工作。虽然也有把程序和数据分开的情形,但这只是形式的分开,数据的传输和使用



仍然由课题程序考虑。这样做,固然对用户来说拥有绝对的数据管理的自由度,但是,缺点却是很多的,严重地影响了计算机使用效率的发挥和提高。实际上,在这一阶段中根本就不存在什么数据管理技术可言;尽管程序设计者也可能想出许多办法来改进对自身数据的使用。

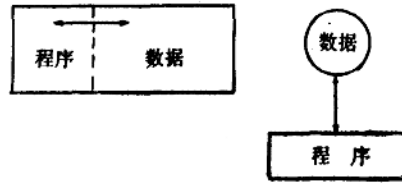


图 1-4 数据的自由管理方式

### 1.2.2 独立文件方式

把数据组织成文件的形式是计算机数据管理的重大进步,而且使数据处理与信息处理更加接近。须知,无组织的一大堆数据是无意义的,也是没有实用价值的。数据的文件组织方式就是把数据按一定的规约组织起来,成为一个有效的数据组合体,给它指称一个名字,即文件名或文件标识。此后用户就可以在程序中按这个文件标识引用其中的数据。

一般地,文件是一组具有相同性质的记录的集合。记录由某些相关数据项组成。数据项又可以是一个组项或者初等项,组项由若干初等项,或者若干初等项和另一些组项组成。只有初等项才是具体的,个别的数据。从本质上说,记录是相关初等项的有意义的组合。它能反映出现实世界中的某一事件。如果对这样的记录及其组成它的数据项指出确切的含义,则它们就将成为一个信息单位了。

文件可以按照不同的组织方法分成为:顺序文件、索引文件、索引顺序文件、相对文件以及倒排文件等等。这些方式的文件各自适应不同的存储设备和用户要求。如在磁带设备上只能存储顺序文件,适于作成批处理的用户;而在磁盘,磁鼓等可直接存取的设备上可以存储非顺序方式的文件,这有利于对文件进行快速的和随机的存取。当然,我们还可以按存取方法来划分文件类型。

由此可见,数据被组织成文件之后,就可以离开处理它的程序而独立存在,并且由一个称做文件管理系统的专用程序对其进行管理和维护。最初,文件管理系统是一个独立的程序,功能也比较地低。但在近代,它总是作为操作系统的一个组成部分,并且提供越来越强的数据管理功能。

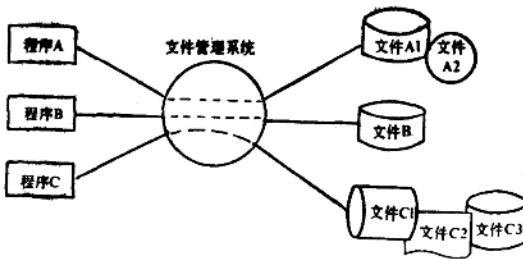


图 1-5 文件系统工作示意图

文件管理系统是应用程序和数据文件之间的一个接口。应用程序通过文件管理系统建立和存储文件,反之,应用程序要存取文件中的数据时也必须通过文件管理系统来实现。如图 1-5 所示。程序 A 通过文件管理系统存取文件 A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub>; 程序 B 存取文件 B; 以及程序 C 使用文件 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> 和 C<sub>3</sub>。

文件管理系统的使用,使得用户在程序设计时只考虑到数据的逻辑定义和物理特征,按规定的组织方式建立文件和按规定的存取方法使用文件;而较少地考虑到数据物理存

储方面的问题。这在一定程度上简化了程序设计的复杂性，对数据的管理也更加合理，更加方便，更加有效。特别是当应用程序和外部存储设备在操作系统控制下工作时，文件系统尤为必要。

但是，由于如此管理的文件是用户专有的，它可能属于个别的用户，甚至属于个别用户的个别应用，使得数据文件处于一个分散的状态之中，这将会造成大量的数据重复，即冗余；并因此而带来许多的弊病。同时，由上面的讨论我们还可以看到，文件和程序之间具有密切的相互依赖关系，即数据与应用的相关性。文件仅仅是数据的存储，而数据的逻辑定义，物理存储设备，组织方式和存取方法仍然要由程序选择、决定，并且要在程序中明确指出。由此推知，文件一旦离开了它所依附的程序便会失去它存在的意义。再则，文件和程序有一方发生变化就会引起另一方的相应变化，否则相互之间便不能适应而致使程序运行失败。即数据是面向程序的，或者说是以程序为中心的。更重要的一点是：文件管理系统管理下的数据仍然是一个无结构的信息集合。它可以反映现实世界中客观存在的事物，但不能反映出各种事物之间客观存在的本质联系。这恰恰是数据具有的尤为重要的性质。

### 1.2.3 共享文件方式

这种方式是文件管理方式的一种，是在独立文件方式的基础上发展起来的。虽然在1.2.2节中讨论过的方式也具有共享的可能性；但是可共享的范围很狭窄，方法困难，且受到很大的限制。为了解决数据共享问题，人们就考虑到了建立一个或几个综合性的文件，存储一组或一个部门内的所有用户用到的数据；其逻辑组织，物理特性由一个专门的公用用户程序来控制。任何一个有关的应用处理都可以通过这个公用用户程序去访问任何一个文件中的数据。

当然，文件管理系统仍然要作为这个公用用户程序的支撑者。这种方式按图1—6所示的方式工作。文件系统环境下的联机应用常常采用这种方式。我们把每一个终端用户看成一个应用处理，终端操作是通过命令语言访问数据，而公用用户程序支撑每一条命令的执行。这个公用用户程序人们称它为应用软件。共享文件方式已经具有数据库的某些概念。但它只是数据库的雏型，还不是真正的数据库，尽管也有人把这种方式美称为数据库。

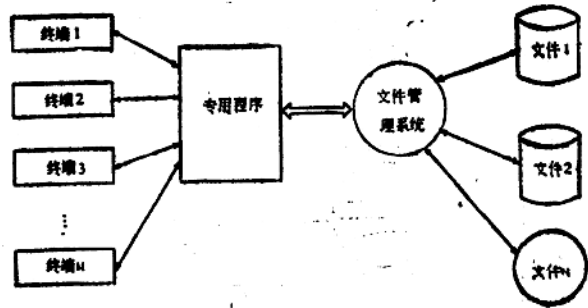


图1—6 共享文件方式工作示意图

上面讨论的这两种数据管理方式，实质上都是文件管理的范畴。随着生产力的发展和社会联系的日益复杂化，它们已经不能适应和满足社会的要求。因此，人们就着手发展和研制更完美的数据管理方式，提出了数据库的概念。

#### 1.2.4 数据库方式

数据库方式克服了以前的所有数据管理方式的缺点，企图提供一种完美的，更高级的数据管理方式。它的思想就是要对所有的数据实行统一的、集中的、独立的管理，使得数据的存储不依赖于使用数据的应用程序的存在与否。

数据库方式的出现，一方面是因为数据管理的需要；另一方面是因为计算机工业的迅速发展，硬件设计艺术的提高，特别是外部存储器的容量越来越大，价格越来越低，计算机的性能价格比越来越好，可靠性越来越高，为数据库的实现提供了可能性。

关于数据库方式的详细内容留在下一节中讨论。

### 1.3 数据库系统方法

在本节中，我们将要简略地回答读者可能会提出来的几个问题；更详细的内容是本教程应解决的问题。

1. 什么是数据库？
2. 为什么要使用数据库？
3. 数据库系统的结构是怎样的？
4. 数据库系统是如何工作的？

#### 1.3.1 什么是数据库

数据库这一术语在今天已为绝大多数计算机工作者（硬件的和软件的）和事务数据处理工作者所熟悉。那么到底什么是数据库呢？对这个问题，目前还没有一个统一的，公认的定义。不过，我们不妨把数据库想象成是一个存储大量业务数据的场所，这些数据具有特定的组织结构，能为许多用户共同使用。图 1-7 也许正是反映在我们头脑里的对数据库产生的初步印象。从这个示意图中，我们可以看到：

（1）有一个数据集合：数据是数据库系统的核心和管理对象。一个组织，一个部门或一个企业的所有业务数据按特定的组织形式存储在计算机（主要是磁盘）内，便构成一个数据库。这些数据能为相关的所有用户共享。所谓组织、部门或企业可以是：一个工厂，一个学校，一个医院，一个政府机关或一个商店等等。所谓业务数据是指工厂里的产品数据，学校中的学生学籍数据，医院中的病人数据，政府机关内的计划统计数据，商店中商品购销数据等等。因此，我们对数据库可以试作如下的定义：

**定义：**数据库是一个组织或企业存储在计算机内的有结构的数据集合。

对于用户来说，数据库中的数据是一批相对稳定的中间数据。它不同于输入数据，也不同于输出数据。尽管输入数据可能经过加工和转换加入数据库，成为数据库中的数据，或者更改数据库中的数据；输出数据可能是由数据库中的数据经过推导而形成。但

是输入或输出数据本身却仍然不能算是数据库的成份。

(2) 有一组用户：即使用数据库中数据的请求。数据库的用户可以分为两类：一类是所谓批处理用户，他们使用程序设计语言，如COBOL, PL/1, FORTRAN等等，编写一个应用程序存取数据库，并产生数据的输出，而且数据的流量比较大。这种用户对数据库的操作是检索、插入、删除和更新等等。另一类是所谓联机用户，他们可能是一些不精通而且不必要精通计算机，特别是不精通程序设计知识的工程技术人员，科学研究人员和各级管理人员。他们只能使用专门的简单的命令式的询问语言存取数据库。如查询某一个数据，对某种数据进行统计分析而取得一个结论性的数据，即联机应用。这种用户虽然同样可以对数据进行上面提到的四种操作，但一般都是以查询性的应用为主。

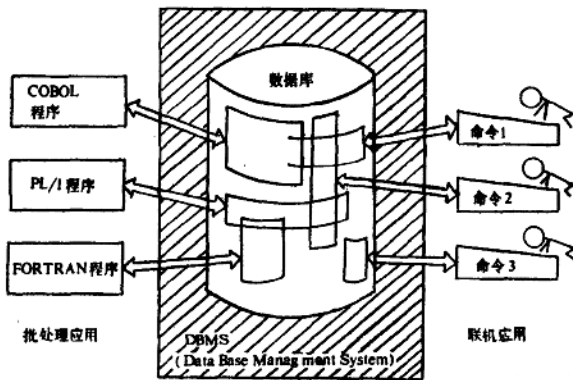


图1-7 数据库系统印象图

所有的用户可以同时使用一个数据库，且每一个用户几乎总是只使用数据库的一小部分数据而不是全部。由图1-7还可以看出，各应用程序访问的部分可以相互交叉重叠。这就意味着数据库具有的共享性。

(3) 有一个数据库管理系统(DBMS-Data Base Management System)：这是一个数据库管理软件，它的职能是维护数据库，接受和完成用户程序或命令提出的访问数据库的各种请求。也就是说，用户不能直接接触数据库，而必须通过数据库管理系统。在下一章，我们将详细讨论数据库管理系统的功能和组成。

上述三者构成一个整体，即数据库系统。用户使用数据库是目的，数据管理系统是帮助达到这一目的的工具和手段。实际上，图1-7是非常精确的示意图，数据库系统的实现正是从这种构思出发的。

### 1.3.2 数据库系统的主要特征

许多数据处理业务单位所以热衷于应用数据库系统来管理内部的数据，主要是因为它具有其独特的特征。数据库方法不仅克服了文件管理方法存在的主要问题，而且提供了更强有力的数据管理能力，显示了很强的生命力。这主要体现在：

(1) 实现了数据的集中化控制：前面我们已经提到，文件是处于一种分散的管理状态中。每一个用户，或者每一个用户的某一种处理都需要建立和维护一个或若干个文件，对于不同的用户或处理之间，各自的文件通常是毫无关系的。即使同一个用户，甚至同一处理中的不同文件也没有什么联系。因此，文件相关于用户或处理而存在，成为

一种私有物。用户常常把磁带卷或磁盘组也看成是自己所有，随身携带。这使得数据无法按照一种统一的方法来控制，维护和管理，而是各自为政。数据库之最可贵的一点就在于集中地控制和管理数据，首先克服了分而治之的缺点。一个组织或一个企业往往把它们的所有要涉及到的数据都组织在一个数据库中，也就是说数据库是“集成式”的。比如一个学校，要进行人事档案的管理，学生学籍的管理，科研情报的管理，财务计算等等各种各样的数据处理业务，我们就可以使用数据库系统把所有各种应用机关的数据集中在一个数据库中进行统一的维护和管理，各个职能部门随时可以从数据库中取得需要的数据。

这里要特别说明的是：由文件系统过渡到数据库系统并不是把数据简单地集中到一起来，而是“集成”起来。所谓集成是指数据库的内容和结构应当是合理的，能适应所有用户要求的。

数据的集中化控制还体现在数据库由称做数据库管理员 (DBA—Data Base Administrator) 的一个人或一班人来负责维护和管理上。这是数据库管理员的职责。只有具备很高技术专长，并对本单位的数据及其流程有全面了解和认识能力的人才能充任数据库管理员的角色。因此，他或他们具有较高的地位。关于数据库管理员的职能是什么？我们将在以下各节中逐步加以说明。

(2) 减少数据的冗余量：严格地说，这是由于数据集中化控制派生出来的特征。文件方式的另一个严重缺点是数据的重复存储。例如一个单位要维护人事档案文件，其中必然存储着关于每一个职工的姓名，年龄，性别，工资级别，工资金额，住址，专长等方面的数据；同在这个单位还要维护一个工资发放文件，其中存储着关于每一个职工的姓名，工资级别，工资金额，附加费，扣除费，奖金金额等方面的数据；它还可能维护一个教学文件，其中包括姓名，专长，授课课程名称，授课对象，人数等等的的数据。那么，在这个单位的计算机中实际存储了职工姓名三次，工资级别和工资金额两次，专长两次等等，也就是说产生了明显的数据库冗余；当然，还有其它表现形式的冗余发生。随之带来的一个问题是存储空间的浪费。在数据库方式下，数据库管理员能够发现这种冗余性，把这三个文件进行集成，使得相同的数据在数据库中只存储一次，并能为三个不同应用共享，这岂不是一件美事吗？

诚然，即使在数据库方式下，目前还不能绝对地消除数据库冗余的发生，但可以尽量地减少。

(3) 复杂的数据模型：这是数据的集中控制，减少冗余的前提和保证。数据模型能够表示出现实世界中的各种各样的数据组织以及数据间的自然联系。与文件方式相比，它们之间的一个本质性差别就在于数据库方式使用了数据模型的概念。而从某种意义上来说，文件方式是无模型的，也即是无结构的。

在数据库系统中常用的有三种数据模型：层次模型，网络模型，关系模型。每一个系统只能使用一种模型。根据使用的模型，可以分别称为层次型数据库，网络型数据库，关系型数据库。

数据模型的意义，我们可以用一个例子来说明。例如在邮政编码查询系统中，如果使用文件方式，可能有形式：

### 邮政编码文件

记录定义	省、市、自治区名称	县、市名称	通信地址	邮政编码
记录1	江苏省	南京市	北京西路2号	210008
记录2	江苏省	南京市	南京大学	210008
	江苏省	南京市	鼓楼区鼓楼街155号	210008
记录4	浙江省	杭州市	杭州大学	310005
记录n	黑龙江省	哈尔滨市	长江路128号	741234

在这个文件中，数据的冗余量相当大。除“通信地址”项中的数据无重复外，“省、市、自治区名称”项的重复量最大，“县市名称”次之，“邮政编码”项再次之。如果使用数据库方式，其数据模型如图1—8所示。显然，它消除了上面提到的那些数据的冗余部分，因为“省、市、自治区”只要出现一次，它与所有属于它的“县、市”联系起来，而每一个“县、市”与属于它的“通信地址”发生联系；具有相同“邮政编码”的“通信地址”与同一个“邮政编码”相联系。可见这些联系代替了原来的冗余数据。这是数据模型的功绩。

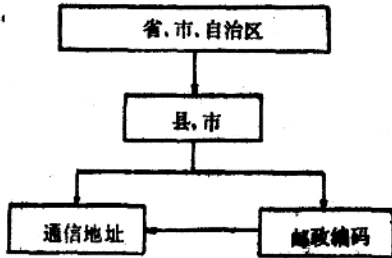


图1—8 一个数据模型例子的图示

（4）一定程度地避免了数据的不一致性；所谓数据的不一致性是指数据的不相容性或矛盾性。它主要是由于数据冗余所引起的。显然，如果一个数据只存储了一次，即消除了冗余，自然不会发生数据的不一致性的问题。所谓在一定程度上避免数据的不一致性，意思是在有冗余的情形下，数据库系统提供一种对数据的各种控制和检查功能，使得数据在更新时的一致性能够得到保证。

（5）实现数据共享；前面已经明确指出了数据库的共享性质，而且这也是数据库方式的主要特性之一。没有共享能力，也就失去了它存在的意义和先进性。这里，我们只想指出，所谓共享性包括三个方面的意义：

- a. 当前的所有用户可以同时存取数据库，这是显而易见的事实。因为数据库的发展正是主要以当前用户为现实基础的。
- b. 未来的新用户与当前用户可以同时存取数据库。这就意味着数据库的创立不仅要着眼于现在，而且还要放眼于未来。
- c. 用户可通过多种不同的程序设计语言或命令语言与数据库接口。例如提供COBOL, PL/1, FORTRAN, 终端命令, 汇编语言等等与数据库之间的接口。如果某个时候出现了一个新的语言, 则只要做很少量的工作, 就可以存取现存的数据库。

（6）加强了对数据的保护；一个数据库能否实用的一个首要问题是，数据是否有安全可靠的保证。数据的保护有四个方面的内容：

- a. 安全性控制：主要是指数据的保密性。首先，一个数据库的用户是否有合法的使用权；对有权使用数据库的用户赋予了一定的使用权限。例如他可以使用哪些数据，对这些数据是有检索权，还是有修改权等等，数据库管理系统提供了有关的检查功能和控制设施，以保证数据库免遭损害和非法的使用。
- b. 完整性控制：完整性包括数据的正确性，有效性和相容性。一个数值型数据中包含了诸如字母，特殊符号等字符，显然是不正确的，是失去完整性的例子。但是必须知道，正确的数据并非一定是有效的，也不一定是相容的。例如表示月份的当前数据为14显然是无效的，但它是正确的。表示同一事实的两个数据项之间的不一致性也是缺乏完整性的例子。数据的集中化控制有利于数据完整性的控制。
- c. 并发控制：不同用户对数据库的共享可能引起对数据的干扰，特别是对数据库进行修改时尤甚，从而破坏数据的完整性。例如，用户甲取得某数据项的当前值是10，并企图修改它为5后再存入数据库。这对单独的一个甲用户而言是无可非议的。问题是当甲用户取走10以后还未使5成为数据库的新值之前，乙用户又取得该数据项的当前值，且仍为10；这显然是一种错误的操作。数据库管理系统的并发控制功能将排除和避免这种错误的发生，保证数据库的正确性。
- d. 故障的发现和恢复：数据库在运行过程中很难保证不受破坏，全局性的和局部性的破坏随时都可能发生。系统提供了一整套设施警惕和发现由于硬件或软件，以致于应用所引起的故障。一旦发现，系统将在尽可能短的时间内，以较少的影响自动地恢复数据库的内容和运行。当然，这是一件既复杂又困难，而且花费代价的事情。

(7) 平衡不同应用对性能的要求：不同的应用对数据库有不同的要求。总的说来，每一个应用都希望受到适合于自己的“最好”的服务性能。然而，对整个数据库而言，应当考虑的问题是保证整个系统有“最好”的性能。这就要求在应用系统之间进行权衡，必要时使某些次要应用只有较低的性能，而保证一些主要应用有较高的性能。这种抉择应当有个原则，即保证系统的高性能。

(8) 可以实施标准化：随着信息处理自动化的进展，信息的标准化越来越显得重要。这不仅使得信息管理得到简化，提高性能；而且使信息更具有通用性。标准化可以是一个组织内的，也可以是社会性的；数据的集中控制方式使之成为可能。主要的工作是数据表示的标准化和设备使用的标准化。

(9) 维护数据的独立性：与其说这是数据库的一个特性，倒不如说是数据库努力实现的一个目标。

什么是数据独立性？为了回答这个问题，我们先讨论相反的情形，即数据的依赖性。简单地说，就是数据在物理设备上的存储方式和存取方法都依赖于应用，而且必须体现于应用。在文件系统中，应用程序必须考虑到文件的组织方式是什么，使用的是什么外部存储设备，用什么方法存取数据等等。因而数据的存储结构或存取策略的改变将会严重地影响到应用程序，反过来，应用程序的改变也将严重地影响到上述的各个方面。这就是所谓数据的依赖性，或者说数据是面向应用的。假如应用程序原来使用的是磁带上的顺序文件，现在若要把该文件搬到磁盘上，且用索引方式组织数据，则应用程序就必须修改以适应这一数据的改变。

在数据库方式中维护的数据独立性就是维护数据与应用程序之间的无关性，其主要目的是使得应用程序不因数据的性质的改变而改变；反过来，数据的性质也不因应用程序的改变或增加而改变。数据库系统结构之所以很复杂，其重要因素正因为此。数据独立性分为两级：

- a. 物理独立性：即数据的物理结构的变化（物理设备的更换、物理位置的变更、存取方法的改变等等）不影响到数据库的逻辑结构，从而也不影响到应用程序。
- b. 逻辑独立性：数据库的逻辑结构的改变（数据定义的修改，新数据类型的增加，数据间联系的变更等等）不影响到应用程序，但是它却影响到物理性质。遗憾的是逻辑独立性到目前为止还没有能完全彻底地得到实现，例如删除某一数据类型，则会使得使用这些数据的应用程序被修改。

总而言之，数据独立性的最终目的是千方百计地使得应用程序不受数据的影响。如果一个系统满足了数据独立性的条件，则我们就说它是以数据为中心的，或者说是面向数据的。

事物总是一分为二的。尽管数据库有一千条优越性，但还是存在着一些缺点的。主要是由于系统结构十分复杂，从而占有较大的存储空间，效率也不如文件方式好，维护起来困难，系统的成本也比较高，目前只适合于一些大型用户使用。因此，是否有必要使用数据库系统作为本单位的信息处理中心，要从实际出发。当然，随着计算机速度的加快，设备价格的迅速下跌，这些缺点也会降低到极次要的地位，性能价格比也越来越好。

### 1.3.3 数据库系统的结构

目前，世界上已经有数以百计的数据库系统在运行，种类也不尽相同。但是，它们的基本结构却大体上是一致的。图 1—9 为我们展示出数据库系统的一般结构。从不同的数据观点出发，我们可以把整个系统分为三层：

(1) 物理数据库层：这是最内的一层。它是物理设备上实际存储着的数据集合，以物理记录为存储单位。物理数据库由叫做物理模式的数据模式定义。这一层与物理设备的特征密切相关。

(2) 概念数据库层：这是一个中间层。它是整体数据库的逻辑表示，指出每一个数据的逻辑定义以及数据间的逻辑联系，是存储记录的集合。概念数据库由叫做概念模式的数据模式定义。实际上，概念数据库并不存在真正的数据的存储，而是提供了一种把物理数据库转换成概念数据库的方法和途径。这是数据库管理员概念下的数据库。

(3) 逻辑数据库层：这是最外的一层，也是最靠近用户的一层。更精确地说，是用户所要使用的数据库。这一层逻辑地表示了一个，或一些特定用户所使用的数据集，即逻辑记录的集合。它由叫做子模式的数据模式定义。

一般说来，一个具体的用户，或者一个特定的应用只对数据库中的某一部分数据感兴趣。而且数据库管理员也只能让他们访问与他们有关的那些数据；所有其它的数据对他们都是隐蔽的，这也是对数据库实施安全保护的一个有力措施。因此，用户是通过逻辑数据库存取数据。对逻辑数据库以外的数据用户可能并不意识到它们的存在，也没有必



要去认识它们。可见逻辑数据库是概念数据库的一个子集。对同一数据，在逻辑数据库中与在概念数据库中可以有不同的逻辑定义和组成；这由数据管理系统负责自动转换。

读者从图中还可以看到，在物理数据库与概念数据库之间，以及在概念数据库与逻辑数据库之间各存在一种映射。所谓映射即是一种对应规则，指出映射双方如何进行转换。映射在整个系统中有极重要的地位，我们所以能把系统分成三个层级就是靠映射来联结和完成的。同时，映射也是数据独立性得以实现的保证。因为当数据库的物理性质发生变化时，只要相应地改变物理数据库与概念数据库之间的映射就可以保持概念数据库不变；类推下去，就可以保持它的逻辑数据库不变；从而最后保证了应用的不变性，使得物理独立性得以实现。对于逻辑独立性，由概念数据库与逻辑数据库之间的映射（如图1-9中的映射A和映射B）加以保证。当然，对各级映射的维护是一件困难而又复杂的事情，但是它换得了用户的方便。数据独立性的程度直接受映射的影响。

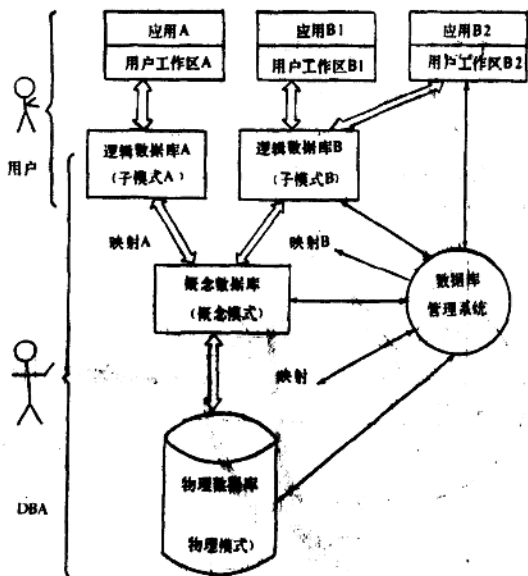


图1-9 数据库系统的结构  
(双线箭头表示信息流，单线箭头表示控制)

图1-9中的数据库管理系统，它的作用就是要保证这一基本结构的实现，并控制数据库系统的运行，因此它由数据库控制系统(DBCS-Data Base Control System)和一组例行程序组成（包括数据库的定义表和系统缓冲区在内）。我们将在第2章中讨论它的具体内容。

数据库系统结构中的三个层级都直接由数据管理员负责管理和维护。

从图中，我们还看到有一组用户。对于它们，这里只说明三点：第一点，在应用程序或终端命令执行程序中必须嵌入数据子语言的语句作为它们与数据库之间的接口。子语言的作用就是指出对数据库的操作请求；第二点，应用程序必须提供用户工作区，作为它们与数据库之间交换数据或信息的场所。最后一点是，用户只可以访问逻辑数据库。

由上面的讨论，我们可以看出，一个数据库系统的组成应是：

- 硬件——数据库系统的物理支撑
- 数据——数据库系统管理的对象
- DBMS——数据库系统管理功能的体现
- 其它软件（OS等）——数据库系统的软件支撑